

УДК 911.2;504.06:632.15

МОНИТОРИНГ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕГИОНОВ СИБИРИ ПО ЗАГРЯЗНЕНИЮ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Давыдова Н.Д.

*ИГСО РАН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН,
Иркутск, e-mail: davydova@irigs.irk.ru*

Представленный в работе материал является неотъемлемой частью исследований, касающихся нового направления – трансформации геосистем в условиях техногенеза, которое предусматривает оценку состояния компонентов геосистем, прогноз его изменения, определение и нормирование нагрузок, мониторинг, что в целом дает возможность управления качеством природной среды. Отправной точкой отсчета загрязнения служит снежный покров, который в условиях Сибири сохраняется 5–6 месяцев и является идеальным аккумулятором поллютантов. На основе результатов исследований твердой и жидкой составляющих снежного покрова выявлен их химический состав, установлены уровни содержания поллютантов и выделены приоритетные химические элементы – загрязнители (F, Na, Al, Ni) при эксплуатации одного из крупнейших в Сибири алюминиевых заводов. Изучена динамика поступления растворимых и мало растворимых веществ в природную среду во времени и пространстве, которая согласуется для фторидов при коэффициентах корреляции 0,8–0,9 с расчетными данными на заводе по количеству их выбросов в атмосферу. На основе результатов натурных наблюдений рассчитаны техногенные нагрузки элементов-загрязнителей на таежные геосистемы, величина которых меняется во времени и пространстве по сравнению с фоновыми значениями в десятки и сотни раз. Показано их влияние на химический состав и жизненное состояние чувствительного к загрязнению атмосферы представителя биоты – сосны сибирской. Выявлено существенное снижение (1,5–2,0 раза) техногенных нагрузок на геосистемы с 1997 года в связи с проведенными мероприятиями по усовершенствованию технологии производства алюминия на заводах «РУСАЛ». Однако, учитывая техногенные нагрузки и качество компонентов природной среды за пределами санитарной зоны, которые еще далеки от нормы по многим показателям и тенденцию перемещения производства алюминия с запада на восток (в Сибирь), следует отметить необходимость дальнейшего совершенствования применяемых технологий или уменьшения мощности предприятий.

Ключевые слова: мониторинг, снежный покров, поллютанты, техногенные нагрузки, биота

ENVIRONMENTAL MONITORING OF SIBERIA REGIONS ON SNOW COVER POLLUTION

Davydova N.D.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: davydova@irigs.irk.ru

The material presented in work, is an integral part of the researches, concerning the new direction – geosystem transformations under conditions of a technogenez, which provides an assessment of geosystem components condition, the forecast of its change, definition and rationing of loadings, monitoring, which, in general, gives the ability of environmental quality management. The starting point of pollution counting is snow cover, which remains 5–6 months serves in the conditions of Siberia and is the ideal accumulator of pollutants. On the basis of research results of firm and liquid snow cover components, their chemical composition is revealed, the pollutant maintenance levels are established and priority chemical elements – pollutants are emitted (F, Na, Al, Ni) at exploitation of one of the largest aluminum production in Siberia. Dynamics of receipt soluble and few soluble substances to environment in time and space, which will be coordinated with fluorides at correlation coefficients 0,8–0,9 with settlement data at production by number of their emissions in the atmosphere is studied. On the basis of natural supervision results, technogenic loadings of elements-pollutants are calculated on taiga geosystems, which size changes in time and space in comparison with background values in tens and hundreds times. Their influence on a chemical composition and a vital condition of biota representative, which sensitive to pollution of the atmosphere, – a Siberian pine is shown. Essential decrease (1,5–2,0 times) in technogenic loads of geosystems in 1997 in connection with the held events for improvement of the aluminum production technology at RUSAL productions is revealed. However, considering technogenic loadings and environment components quality of components out of a sanitary zone, which are still far from norm on many indicators and a tendency of movement of aluminum production from the West to the East (to Siberia), it should be noted necessary of further improvement of the applied technologies or reduction of enterprises power.

Keywords: monitoring, snow, pollutants, anthropogenic load, biota

Одной из причин возможного изменения глобального геохимического фона, связанного с загрязнением атмосферы, служат эмиссии многочисленных точечных источников, размещенных на земной поверхности. Поэтому регулирование или

предупреждение неумеренных выбросов в атмосферу на локальном уровне является инструментом управления техногенным процессом загрязнения геосферы на более высоких уровнях по законам единичного и общего, перехода количества в качество.

Со временем в сознании людей все прочнее укореняется мысль, что лучше предотвратить загрязнение, чем бороться с его последствиями. В результате общих усилий в настоящее время все хозяйственные проекты обязаны учитывать требования по охране природы, проходить стадию оценки воздействия на окружающую среду и общественные слушания. Однако постепенно интерес к факту загрязнения природной среды снизился, но проблема, несмотря на предпринятые усилия по ограничению выбросов, сохраняется и будет существовать еще долгие годы. Это связано как с несовершенством технологий производства промышленных товаров, так и со способностью загрязняющих веществ накапливаться в компонентах природной среды, в результате чего их влияние растянуто во времени. Длительность опасного периода зависит от уровня содержания химических веществ в объектах природной среды, их состава и формы нахождения, а также физико-географических условий и структуры ландшафтов, в которые они приносятся.

Цель исследования – показать, что современные технологии алюминиевых заводов недостаточно экологичны и длительное их использование приводит к формированию техногенных геохимических аномалий с присутствием фтора и сопутствующих элементов во всех компонентах природной среды.

Материалы и методы исследования

Исследования проводятся на территории, подверженной воздействию пылегазовых эмиссий предприятия цветной металлургии. Объект изучения – южно-таежные плоскогорные геосистемы Средней Сибири, находящиеся около 48 лет в зоне воздействия эмиссий Братского алюминиевого завода (БрАЗа) производительностью 1 млн т в год.

Возможность использования снежного покрова для оценки загрязнения природной среды давно привлекала внимание исследователей. Было показано, что снег может служить индикатором атмосферного загрязнения сульфатами, нитратами, аммонием, основаниями, тяжелыми металлами, полициклическими ароматическими углеводородами, пестицидами, радиоактивными элементами и многими другими веществами, в том числе газообразными [3]. Более того, снежный покров может быть использован не только для установления уровней загрязнения, но и для решения более сложных задач – определения вещественного состава и техногенных нагрузок, мощности выбросов, доли вещества, увлекаемого в дальний и локальный перенос [5].

В условиях Сибири это один из признанных методов учета поллютантов т.к. практически половину года он является их естественным поглотителем. С целью оценки потока техногенных веществ, поступающих на поверхность почвы от алюминиевых заводов, определения их химического состава и дальности распространения на исследуемой территории с 1987 г. осуществляется мониторинг загрязнения

снежного покрова сначала по радиально-лучевой системе от источника эмиссий с отражением индикативных количественных показателей на картосхемах. Далее отбор проб снега проводился в 3–5-кратной повторности в направлении основного массопереноса по ландшафтно-геохимическому профилю, секущему территорию г. Братска, поселков Падун, Энергетик и Гидростроитель на всю глубину снежного пласта с определенной учетной площади в полиэтиленовые пакеты пластиковым цилиндром или совком. Частота отбора проб уменьшалась по мере удаления от заводов, максимальное расстояние составляло 30–40 км. Для расчета общего количества веществ или отдельных химических элементов, поступающих в природную среду через атмосферу за зимний период, использовали влагозапас в снеге с площади пробоотбора и количество вещества в 1 дм³ снеговой воды по формуле

$$Q = CV/S,$$

где Q – поступление вещества (плохо растворимого, растворимого, химического элемента) за зимний период, мг/м²; C – содержание вещества в снеговой воде, мг/дм³; V – объем снеговой воды с площади отбора пробы снега, дм³; S – площадь опробования, м².

Из целого ряда древесных и травянистых растений в целях мониторинга была выбрана сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) как наиболее чувствительный вид к пылегазовым эмиссиям из распространенных здесь хвойных пород деревьев.

Количественный химический анализ массы твердого малорастворимого и растворимого в снеговой воде вещества, накопившегося за зимний период, а также золы хвои сосны, выполнялся в сертифицированном химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН с использованием соответствующих методик [7, 8, 9] и приборной базы Байкальского центра коллективного пользования. Пробы анализировались на содержание 22 элементов – Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, Mn, P, F, Sr, Ba, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Be, Mo, V. При этом применялись спектрометры: атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой Optima 2000 DV и атомно-абсорбционный с прямой электротермической атомизацией проб Analyst 400 фирмы Perkin Elmer. Подготовка проб к анализу проводилась двумя способами:

– сплавлением навески золы и взвесей с метаборатом лития 1:5 при температуре 850 °С и последующим растворением в 5 % HNO₃ с помощью магнитной мешалки;

– кислотное разложение (смесью HNO₃ + HCl + HF) проб взвесей с помощью микроволновой системы разложения MW 3000 Anton Paar GmbH с последующей нейтрализацией раствором H₃BO₃.

Содержание фтора выявлялось электродметрическим методом с помощью фторселективного электрода ЭЛИС 131F на иономере «Эксперт-001» [10]. Определение общей минерализации и анионного состава водных растворов проводилось по утвержденным методикам [11, 12, 13] с применением системы капиллярного электрофореза HP 3D CE Agilent Technologies.

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе проводится сравнительный анализ динамики пылегазовых эмиссий и загрязнения снежного покрова твердыми взвешьями и растворимыми

в снеговой воде веществами территории, прилегающей к БрАЗу. Решающая роль в формировании снежного покрова и рассеянии пылегазовых эмиссий принадлежит климату и орографии местности. Климат исследуемой территории резко континентальный и суровый с длинным периодом отрицательных температур [1]. Сумма температур выше 10°C составляет 1350–1450°C. Летний период длится примерно 3,0–3,5 месяца, зима – 6,5.

Атмосферных осадков влаги на территории выпадает в пределах 350 мм в год, с минимумом в долинах (250–300 мм). Большая их часть приходится на середину и конец лета. Устойчивый снежный покров начинает формироваться на промерзлой с поверхности почве в среднем 25 октября, а заканчивается в конце февраля – начале марта. Продолжительность его залегания составляет 160–180 дней. Высота пласта меняется по территории от 30 до 50 см.

Большая часть времени года характеризуется низкими скоростями ветра (до 5 м/с). Рассчитанные Братской государственной обсерваторией классы устойчивости погоды показали, что наибольший процент по времени составляют условия с плохой рассеивающей способностью. Малые скорости ветра и приподнятые инверсии создают высокий потенциал загрязнения [2]. Этому способствует холмистый рельеф местности. Хребет Долгий (высота 701 над у.м.) и гора Моргудон (619,5 над у.м.), находящиеся вблизи завода, которые препятствуют растеканию воздушных масс к югу, юго-западу и западу. Вследствие этого перенос пылегазовых эмиссий от источника осуществля-

ется преимущественно на восток вдоль хр. Долгий и на северо-восток в направлении г. Братска, где часто наблюдаются повышенные концентрации специфических веществ, в том числе неприятно пахнущего метилмеркаптана. Наиболее опасными из них признаны 3,4-бензпирен и соединения фтора. В отличие от 3,4-бензпирена, фториды токсичны не только по отношению к человеку, но и ко всему живому. По уровню атмосферного загрязнения ИЗА (69,1 – 1993 г. и 27,2 – 2000 г.) г. Братск относится к группе городов РФ с неблагоприятной экологической ситуацией [4].

В результате выполнения (1996–2000 гг.) Федеральной целевой программы «Экология города Братска» на крупных предприятиях проведен комплекс мероприятий по модернизации производства. На БрАЗе установлен новый тип электролизеров с автоматической подачей глинозема и герметичным колокольным укрытием, внедряется применение «сухой» анодной массы, «рукавная» очистка электролизных газов. Проведенная работа позволила существенно снизить эмиссии вредных веществ (рис. 1).

При оценке массы выбросов в атмосферу по данным [4] за 1987–2008 гг. выделяются три периода: 1 – до модернизации (1988–1996 гг.), 2 – после модернизации (1997–2005), 3 – при увеличении выпуска продукции (2006–2008 гг.). К 2008 году снижение эмиссии пыли, твердых и газообразных фторидов произошло на 38; 33; 36% соответственно (рис. 1). Это нашло адекватное отражение в накоплении техногенных веществ в снежном покрове (рис. 2).

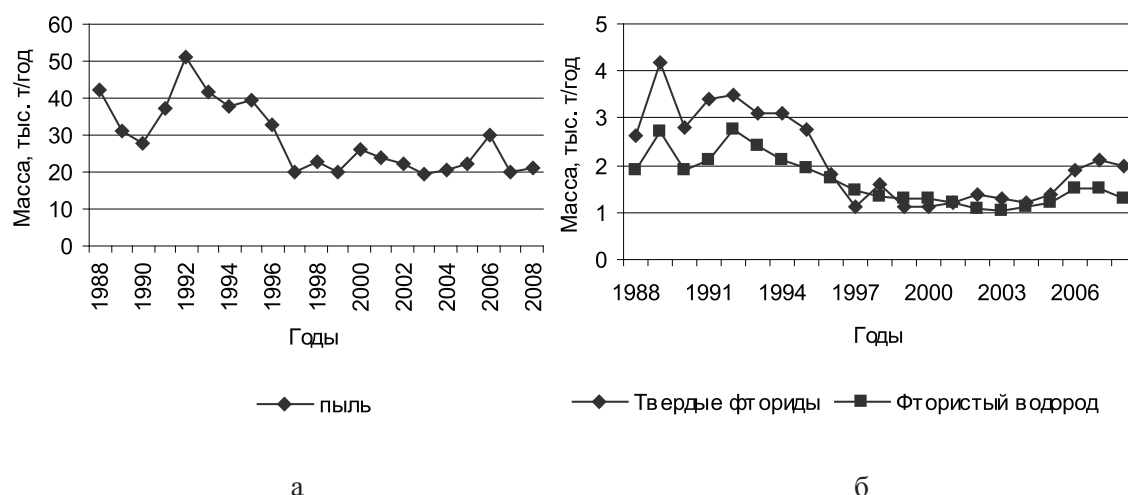


Рис. 1. Динамика поступления в атмосферу твердых взвешенных частиц (а), твердых фторидов и фтористого водорода (б)

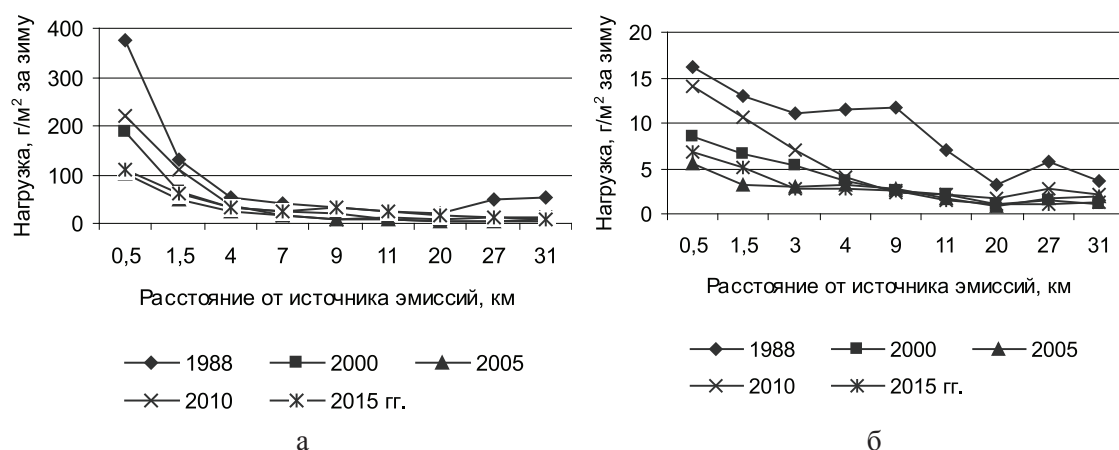


Рис. 2. Поступление вещества из атмосферы:
а – малорастворимое; б – растворимое

О величине массы веществ, привнесенных с техногенным потоком непосредственно на земную поверхность, а также их изменении во времени и пространстве реальное представление дают нагрузки веществ, рассчитанные по накоплению их за зимний период в снежном покрове исследуемой территории (рис. 2). Наибольшее количество веществ, накапливающихся в снеге как в результате осаждения под действием сил гравитации в ясную погоду и в условиях смога, так и в результате захвата их снежной массой во время снегопада характерно для длительного 30-летнего периода (1967–1997 гг.). Об этом свидетельствуют результаты исследования снежного покрова 1977–1988 гг. (рис. 2) [6] и позднее [14].

В результате модернизации технологии и оборудования, проведенной на заводе, поступление потока техногенных веществ на территорию уменьшилось примерно в два раза. К 2010 г. в связи с увеличением выпуска алюминия сначала до 900 тыс. т, а в последствии до 1 млн он вновь усилился, особенно в части наиболее токсичного – растворимого вещества. К 2015 году количество веществ вновь снизилось до прежнего уровня. Проведенный анализ парной корреляции показал тесную взаимосвязь между расчетным количеством выбросов в атмосферу пыли и фторидов и накоплением их в снежном покрове как вблизи, так и на большом удалении от завода (1,5; 4; 9; 20 км). Наиболее тесная связь на указанном расстоянии характерна для растворимых фторидов снежного покрова и фтористого водорода выбросов ($r = 0,88; 0,96, 0,91, 0,88$). По отношению

к выбросам твердых фторидов эта взаимосвязь снижена ($r = 0,70; 0,83; 0,70; 0,67$). Наименьшая взаимосвязь ($r = 0,69; 0,61; 0,57; 0,77$) характерна для выбросов твердых фторидов и их запасов в снеге, что объясняется примесью твердой массы других источников (особенно в черте города), не обогащенных фтором.

Химический состав твердых малорастворимых (взвесей) и растворимых в снеговой воде веществ специфичен и различается по уровням содержания составляющих его ингредиентов с увеличением расстояния от заводов. Так, основную массу твердого вещества (рис. 3 а) составляют кремний (Si) и алюминий (Al) с той разницей, что на территории, прилегающей к заводу, в нем преобладает алюминий, а на удалении – кремний. Подобная закономерность характерна и для фтора (F) с натрием (Na). Натрия и фтора как элементов, сопутствующих алюминию, могло бы быть больше, но они в значительной мере переходят в раствор. Существенное изменение содержания химических элементов в твердом веществе проявляется на расстоянии более 4–5 км от алюминиевого завода. Здесь сила давления его поллютантов снижается, и начинают преобладать, вещества иного состава и других источников, прежде всего г. Братска, в котором находится более 40 крупных и мелких предприятий (Братский целлюлозно-бумажный комбинат, хлорный завод, тепловые электростанции, Братский завод ферросплавов, котельные), автотранспорта. Увеличение натрия обусловлено добычей хлорида натрия (4-й км, рис. 3 а), его транспортировкой и использованием для производства хлора на хлорном заводе.

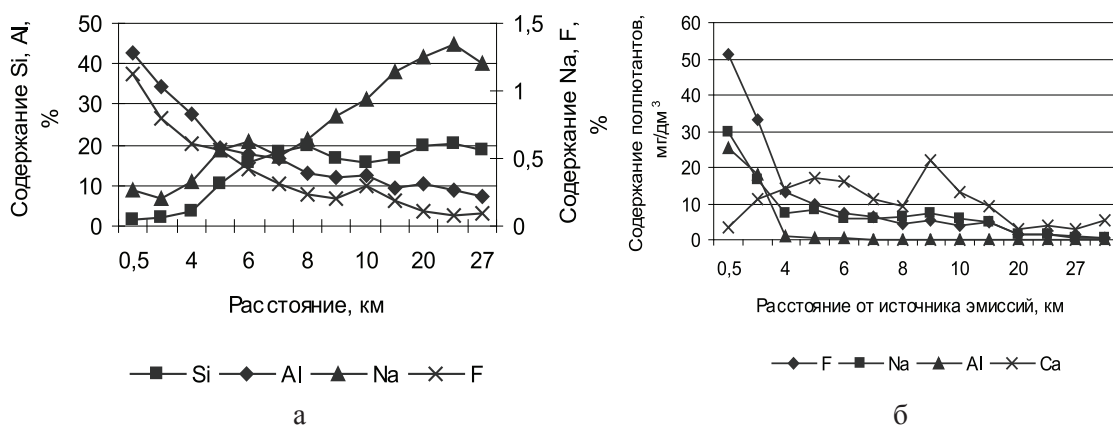


Рис. 3. Содержание основных химических элементов в малорастворимом (а) и растворимом (б) веществе

Растворимое вещество жидкой фазы снеговой воды в наибольшем количестве содержит фтор, алюминий, натрий, и кальций (Ca) (рис. 3 б). При этом первые три элемента преобладают в снеге вблизи алюминиевого завода, а последний элемент – в центральной части города, что объясняется влиянием тех же источников, как и в случае с твердым веществом. Источником F и Al, несомненно, является алюминиевый завод, Na – алюминиевый завод вблизи, солевой промысел и хлорный завод на удалении, Ca – тепловые станции и котельные, использующие бурые угли. Наибольшее содержание натрия, до 40 мг/дм³, обнаружено вблизи хлорного завода, кальция (антагониста фтора) – ТЭЦ-6. В целом техногенное вещество, поступающее от алюминиевого завода в природную среду, в большом количестве содержит F, Al, Na. При этом в радиусе 4–5 км от завода твердое малорастворимое вещество обогащено алюминием (20–40%) и в меньшей степени фтором (от 0,5 до 1,5%). Растворимое в снеговой воде вещество, напротив,

отличается высоким уровнем содержания натрия и фтора. Количество растворенного алюминия хотя и высокое, но резко падает с удалением от завода (рис. 3). Содержание элементов в поступающем потоке веществе определяет и их нагрузки на геосистемы (рис. 4).

До модернизации производства алюминия количество твердого малорастворимого вещества превышало фоновый уровень в 250–300 раз. Поступление его потока в геосистемы примерно на порядок больше поступления растворимого вещества (рис. 2). Однако нагрузки фтора, которому отдано при анализе материалов предпочтение как наиболее токсичному и химически активному элементу, примерно равны в обеих фракциях, кроме отдельных случаев. Они сопоставимы или различаются в зависимости от качества очистки эмиссий на предприятии. При увеличении потока пылевой фракции соотношение смещается в сторону твердых фторидов, при уменьшении – растворимых фторидов.

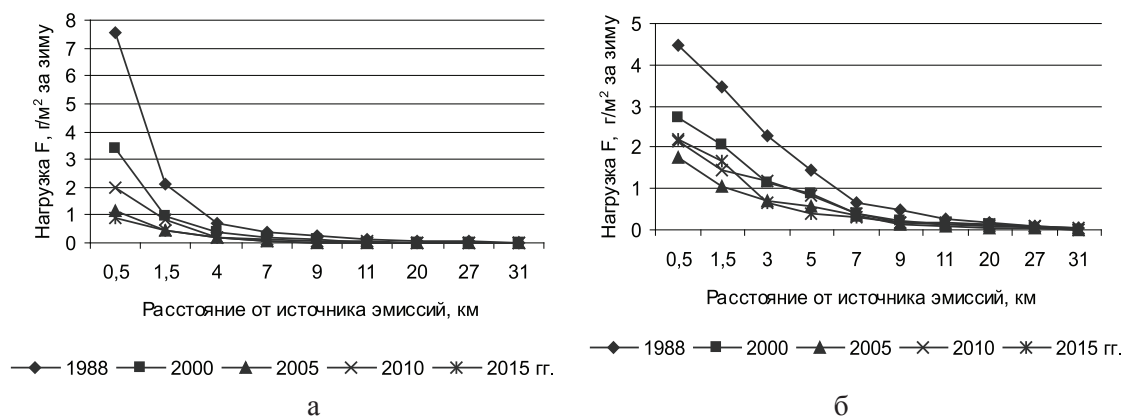


Рис. 4. Поступление фтора за зимний период в составе твердой (а) и жидкой (б) фаз снеговой воды

Наблюдения за жизненным состоянием древесных пород показали, что после 1997 года вследствие снижения потока фторидов их линейный прирост веток и ствола начал увеличиваться. Наибольший прирост 70–80 см в год был отмечен у лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Усиление роста древостоев (с 10–15 до 40–50 см в год) на примере сосны обыкновенной (таблица) началось не сразу, а с некоторого пессимума, пока содержание приоритетного токсиканта не снизилось не только в воздухе, но и в хвое сосны до 300–200 мг/кг (рис. 5). Увеличение нагрузок поллютантов на компоненты таежных геосистем в 2010 г. привело к увеличению их содержания в хвое сосны обыкновенной, но мало повлияло вследствие инерционности отклика на линейный прирост веток и ствола. В большей степени на жизненном состоянии и росте хвойных пород сказались повышение концентраций фторидов в атмосферном воздухе в результате аварийных выбросов летом 2012, 2013 годов. Наблюдалось поражение почек роста верхушек сосны, образование мутовок, сильный ожог хвои, некроз листьев осины трясущейся, березы повислой (*Betula pendula* Roth), ивы козьей (*Salix caprea* L.), а также травостоя: пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), осоки большехвостой (*Carex macroura* Meinsh.), полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) и др.

Изменение химического состава растений, которое выявляется, прежде всего, по содержанию химических элементов в листьях (листовая диагностика), свидетельствует о нарушении геохимических условий

среды обитания. Повышенное содержание приоритетных поллютантов в хвое сосны обыкновенной и снижение линейного прироста ствола является ее реакцией на изменение атмо-геохимических условий среды обитания, что подтверждается высоким коэффициентом корреляции этого показателя с нагрузками фторидов ($r = -0,91$).

Заключение

В результате проведенных исследований выявлен химический состав веществ, поступающих от завода через атмосферу в природную среду, и дана оценка потенциальной экологической опасности для ряда элементов, превышающих фоновые значения. В твердом малорастворимом веществе в последнее десятилетие аномальной по отношению к почвам фона является ассоциация, состоящая из семи элементов: $F_{50} Al_{5,2} Ni_{4,5} Co_{2,0} Cu_{1,8} Zn_{1,8} Pb_{1,8}$. Индекс суммарного загрязнения (Zc) составляет 61,1 условных единиц (у.е.), что соответствует высокому и опасному уровню. Главными элементами являются F, Al, Ni. Жидкая фаза снеговой воды вблизи завода в отличие от твердого малорастворимого вещества содержит кроме фтора и алюминия повышенное количество натрия и характеризуется несколько иной ассоциацией элементов $Al_{857} F_{821} Na_{75,6} Ca_{5,0} Mg_{5,0} Co_{5,0} Pb_{3,3} Si_{2,9}$ по сравнению со снеговой водой фона. Уровень накопления веществ вблизи завода очень высокий и опасный (Zc = 1768 у.е.). Группу приоритетных элементов составляют Al, F, Na. Распределение поллютантов алюминиевого завода в пространстве осуществляется преимущественно в северо-восточном направ-

Линейный прирост (см/год) ствола сосны, возраст 22 года (среднее из $n = 3$)

Расстояние, км	Годы									
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
2	10	10	5	4	5	10	17	20	20	22
15	16	15	10	7	10	14	22	25	30	30
Расстояние, км	Годы									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
2	23	35	37	40	43	42	41	40	31	35
15	30	40	45	48	48	45	45	43	38	40

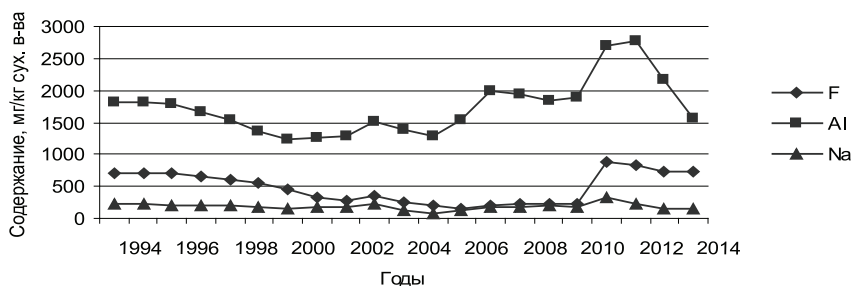


Рис. 5. Динамика содержания элементов-загрязнителей в хвое сосны обыкновенной

лении (включая территорию г. Братска). С увеличением расстояния от завода их нагрузки уменьшаются, согласно логнормальному распределению. Основное количество поллютантов осаждается в пределах 30 километров. Уменьшение с 1997 г. выбросов в атмосферу, соответственно, нашло отражение в снижении нагрузок на геосистемы, которые уменьшились примерно в два раза. Наибольшее количество техногенных веществ приурочено к санитарной зоне БрА-За. Здесь нагрузки твердого малорастворимого вещества достигают 440–204 т/км² в год, растворимого вещества – 28–11, фтора малорастворимых веществ – 6,8–2,2 и фтора растворимых веществ – 5,5–3,5. Такое количество превышает фоновые нагрузки в десятки и сотни раз. На расстоянии 9 км нагрузки остаются еще довольно высокими, особенно по растворимым фторидам (в десятки раз), что указывает на еще недостаточное улавливание на заводе твердых и особенно газообразных фторидов.

Использование сосны обыкновенной в качестве индикатора показало, что в зонах загрязнения необходимо находить и выявлять растения, чувствительные к тому или иному типу техногенного геохимического воздействия [5]. Их применение в целях нормирования техногенных нагрузок на урбанизированных территориях, которые являются частью глобального географического пространства, достаточно результативно. От того, как будут функционировать геосистемы локального уровня, во многом зависит функционирование систем и более высоких уровней.

Список литературы

1. Атлас Иркутской области. – М.-Иркутск: ГУГК, 1962. – С. 53–66.
2. Безуглая Э. Ю. Климатическая характеристика условий распространения примесей в атмосфере над территорией СССР, в том числе зоны БАМ: Справочное пособие. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – С. 228–232.
3. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1985. – 180 с.
4. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Иркутской области». – Иркутск: Госком. Экол. РФ и Адм. обл. 1993-2008. – С. 201–203.
5. Давыдова Н.Д. Техногенная трансформация топогеосистем при воздействии пылегазовых эмиссий (состояние, прогноз, мониторинг): автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – Иркутск, 2001. – 55 с.
6. Давыдова Н.Д., Ландшафтно-геохимический анализ состояния геосистем территории промышленного воздействия // География почв и геохимия ландшафтов Сибири – Иркутск: ИГ СО РАН, 1988. – С. 56–75.
7. ПНДФ 16.1:2.3:3-11-98. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. – М., 2005. – 28 с.
8. ПНДФ 14.1:2.4.135-2005. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. – М., 2008. – 24 с.
9. РД 52.24.377-95. Методика выполнения измерений массовой концентрации металлов (Al, Ag, Be, Cd, Co, Cr,

Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) в поверхностных водах суши методом атомной абсорбции с прямой электротермической атомизацией проб. – Ростов-на Дону, 1995. – 23 с.

10. РД 52.24.360-2008. Массовая концентрация фторидов в водах. Методика выполнения измерений потенциометрическим методом с ионселективным электродом. – Ростов-на Дону, 2008. – 25 с.

11. РД 52.24.405 – 2005. Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений турбодиметрическим методом. – Ростов-на Дону, 2005. – 9 с.

12. РД 52.24.493 – 2006. Массовая концентрация гидрокарбонатов и величина щелочности поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Методика выполнения измерений титриметрическим методом. – Ростов-на Дону, 2006. – 20 с.

13. РД 52.24.407 – 2006. Массовая концентрация хлоридов в водах. Методика выполнения измерений argentометрическим методом. – Ростов-на Дону, 2006. – 12 с.

14. Экогеохимия городских ландшафтов. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1995. – 332 с.

References

1. Atlas Irkutskoj oblasti. M.-Irkutsk: GUGK, 1962. pp. 53–66.
2. Bezuglaja Je. Ju. Klimaticheskaja harakteristika uslovij rasprostraneniya primesej v atmosfere nad territoriej SSSR, v tom chisle zony BAM: Spravochnoe posobie. L.: Gidrometeoizdat, 1983. pp. 228–232.
3. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring zagrijaznenija snezhnogo pokrova. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 180 p.
4. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii okruzhajushhej prirodnoj sredy Irkutskoj oblasti». Irkutsk: Goskom. Jekol. RF i Adm. obl. 1993-2008. pp. 201–203.
5. Davydova N.D. Tehnogenjnaja transformacija topogeosistem pri vozdejstvii pyl'egazovyh jemissij (sostojanie, prognoz, monitoring): avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk. Irkutsk, 2001. 55 p.
6. Davydova N.D., Landshaftno-geohimicheskij analiz sostojanija geosistem territorii promyshlennogo vozdejstvija // Geografija pochv i geohimija landshaftov Sibiri Irkutsk: IG SO RAN, 1988. pp. 56–75.
7. ПНДФ 16.1:2.3:3-11-98. Metodika vypolnenija izmerenij soderzhanija metallov v tverdyh objektah metodom atomno-jemissionnoj spektrometrii s induktivno-svjazannoj plazmoj. M., 2005. 28 p.
8. ПНДФ 14.1:2.4.135-2005. Metodika vypolnenija izmerenij massovoj koncentracii jelementov v probah pitevoj, prirodnyh, stocnyh vod i atmosferyh osadkov atomno-jemissionnoj spektrometrii s induktivno-svjazannoj plazmoj. M., 2008. 24 p.
9. RD 52.24.377-95. Metodika vypolnenija izmerenij massovoj koncentracii metallov (Al, Ag, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) v poverhnostnyh vodah sushi metodom atomnoj absorbcii s prjamoj jelektrotermicheskoj atomizaciej prob. Rostov-na Donu, 1995. 23 p.
10. RD 52.24.360-2008. Massovaja koncentracija ftoridov v vodah. Metodika vypolnenija izmerenij potenciometricheskim metodom s ionselektivnym jelektrodom. Rostov-na Donu, 2008. 25 s.
11. RD 52.24.405 2005. Massovaja koncentracija sulfatov v vodah. Metodika vypolnenija izmerenij turbodimetricheskim metodom. Rostov-na Donu, 2005. 9 p.
12. RD 52.24.493 2006. Massovaja koncentracija gidrokarbonatov i velichina shhelochnosti poverhnostnyh vod sushi i ochishhennyh stocnyh vod. Metodika vypolnenija izmerenij titrimetricheskim metodom. Rostov-na Donu, 2006. 20 p.
13. RD 52.24.407 2006. Massovaja koncentracija hloridov v vodah. Metodika vypolnenija izmerenij argentometricheskim metodom. Rostov-na Donu, 2006. 12 p.
14. Jekogeohimija gorodskih landshaftov. M.: Izd-vo Mosk. Un-ta, 1995. 332 p.

Рецензенты:

Абалаков А.Д., д.г.н., профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, г. Иркутск;
Бессолицына Е.П., д.г.н., старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, г. Иркутск.